

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-316125

(43)Date of publication of application : 16.11.1999

(51)Int.Cl. G01C 19/56

G01P 9/04

G03B 5/00

H01L 41/08

H01L 41/22

(21)Application number : 10-123216

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO  
LTD  
NIPPON DEMPA KOGYO CO LTD

(22)Date of filing : 06.05.1998

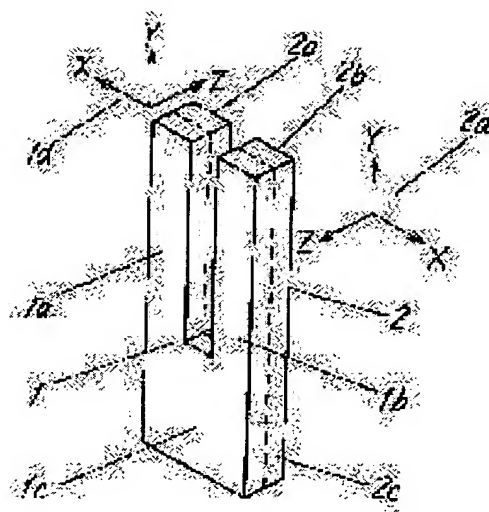
(72)Inventor : YUKAWA JUNICHI  
TERADA JIRO  
NAKAMARU KUNIHARU  
ISHIHARA MINORU  
ONO KOZO

### (54) ANGLE SPEED SENSOR AND ITS MANUFACTURE

#### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve the detection sensitivity by bonding first and second tuning fork oscillators consisting of monocrystal piezoelectric material in a crystal orientation where piezoelectric phenomena of reverse polarities are caused in width or thickness direction.

**SOLUTION:** This angle sensor, for example, is provided with tuning fork oscillators 1, 2 consisting of a monocrystal piezoelectric material such as quartz, which are bonded and integrated by superposing and thermally treating after hydrophilic treatment. The oscillators 1, 2 have mutually reversed X-axial directions in the main surface direction. Each electrode for driving is provided on the X-Y plane of the arm of the bonded oscillator, and each sensing electrode for detecting the Coriolis force by the angle speed around Y-axis is provided on the Y-Z plane. According to this, the charge generated by the Coriolis force can be laid in the same direction since the X-axis of the arms of the oscillators 1, 2 are reversed, and efficiently detected, and a higher sensitivity can be realized. The structure



consisting of a pair of arms bonded to each other in the base parts can be also adapted.

---

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 26.09.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3335122

[Date of registration] 02.08.2002

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-316125

(43) 公開日 平成11年(1999)11月16日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup> 識別記号

G 0 1 C 19/56

G 0 1 P 9/04

G 0 3 B 5/00

H 0 1 L 41/08

41/22

F I

G 0 1 C 19/56

G 0 1 P 9/04

G 0 3 B 5/00

H 0 1 L 41/08

41/22

K

Z

Z

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平10-123216

(22) 出願日 平成10年(1998)5月6日

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(71) 出願人 000232483

日本電波工業株式会社

東京都渋谷区西原1丁目21番2号

(72) 発明者 湯河 潤一

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器

産業株式会社内

(72) 発明者 寺田 二郎

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器

産業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 滝本 智之 (外1名)

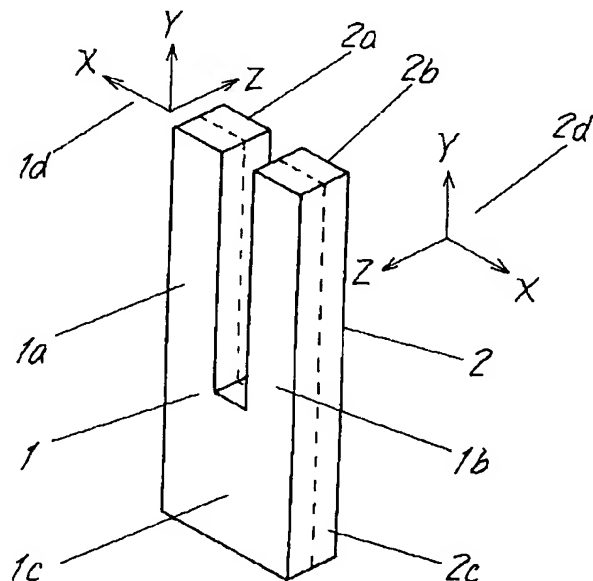
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 角速度センサ及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 水晶等の単結晶圧電材料よりなる音叉振動子を利用した角速度センサの検出感度を高めることを目的とする。

【解決手段】 2枚の音叉振動子を厚み方向に直接接合して一体化してなり、これらの各音叉振動子はその幅方向もしくは厚み方向において互いに逆極性の圧電現象を生ずる結晶軸方向となるように接合した。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 単結晶圧電材料からなる少なくとも2本のアームと前記アームを連結する少なくとも1つの基部から構成される第1の音叉振動子と、前記第1の音叉振動子とほぼ相似形で単結晶圧電材料から構成された第2の音叉振動子とを備え、前記第1の音叉振動子と第2の音叉振動子を厚み方向に直接接合して一体化してなり、前記第1の音叉振動子と前記第2の音叉振動子は前記各音叉振動子の幅方向において互いに逆極性の圧電現象を生ずる結晶軸方向にて接合された事の特徴とする角速度センサ。

【請求項2】 単結晶圧電材料からなる少なくとも2本のアームと前記アームを連結する少なくとも1つの基部から構成される第1の音叉振動子と、前記第1の音叉振動子とほぼ相似形で単結晶圧電材料から構成された第2の音叉振動子とを備え、前記第1の音叉振動子と第2の音叉振動子を厚み方向に直接接合して一体化してなり、前記第1の音叉振動子と前記第2の音叉振動子は前記各音叉振動子の厚み方向において互いに逆極性の圧電現象を生ずる結晶軸方向にて接合された事の特徴とする角速度センサ。

【請求項3】 単結晶圧電材料からなる第1と第2のアームと前記第1と第2のアームを連結する少なくとも1つの基部から構成される音叉振動子を有し、前記第1のアームと第2のアームは音叉振動子の厚み方向において互いに逆極性の圧電現象を生ずる結晶軸方向にて接合された事の特徴とする角速度センサ。

【請求項4】 単結晶圧電材料からなる第1と第2のアームと前記第1と第2のアームを連結する少なくとも1つの基部から構成される音叉振動子を有し、前記第1のアームと第2のアームは単結晶圧電材料の結晶軸方向を直交させて接合された事の特徴とする角速度センサ。

【請求項5】 請求項1または2記載の角速度センサの製造方法であって、少なくとも2枚の単結晶圧電材料からなるウエハーをその結晶軸方向を変えて直接接合した板材から、フォトリソグラフィで音叉振動子を加工する事の特徴とする角速度センサの製造方法。

【請求項6】 請求項1または2記載の角速度センサの製造方法であって、少なくとも2枚の単結晶圧電材料からなるウエハーからフォトリソグラフィで音叉振動子を加工し、その結晶軸方位を変えてウエハー上で直接接合する事の特徴とする角速度センサの製造方法。

【請求項7】 請求項1記載の角速度センサにおいて、2本のアームのうち一方のアームの外周4面に音叉振動子の主面に平行方向となるように励振する駆動電極を形成し、他方のアームの相対向する側面に音叉振動子の主面に垂直方向となる振動によって生ずる電荷を検出するセンス電極を形成した角速度センサ。

【請求項8】 請求項2記載の角速度センサにおいて、2本のアームのうち一方のアームの外周4面に音叉振動

子の主面に平行方向となるように励振する駆動電極を形成し、他方のアームの相対向する主面に音叉振動子の主面に垂直方向となる振動によって生ずる電荷を検出するセンス電極を形成した角速度センサ。

【請求項9】 圧電現象及び圧電逆現象を有する結晶体の電気的に作用するX軸方向の一端を+極性及び他端を-極性とした圧電板から形成され、一対のアームを音叉基部から延出して前記X軸方向を幅又は厚み方向とした2枚の音叉振動子からなり、前記2枚の音叉振動子は前記X軸方向の極性を互いに逆方向として直接接合した角速度センサ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば自動車のナビゲーションシステムや走行制御システム、及びカメラの手ぶれ補正システム等に使用される角速度センサ及びその製造方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来の角速度センサは、航空機や船舶に使用される高価でかつ大型のコマ式ジャイロスコープが主流であったが、近年では安価な振動ジャイロの本格的な実用化もあり、自動車の走行制御やカーナビゲーションシステム、更にビデオカメラやスチルカメラの手ぶれ補正システム等にまで用途が拡大するなか、角速度センサにはより小型・低価格化が強く要求されている。

【0003】このような環境の中で、近年では、水晶やリチウムタンタレート等の単結晶圧電素子を振動子材料として用いた角速度センサが提案されている。これらによれば従来のように金属材料の振動子にセラミックの圧電素子を貼り付けるタイプの構造よりも小型で、かつ安価な角速度センサを供給できる可能性がある。

【0004】従来、単結晶圧電素子を利用した角速度センサは、一対のアームの各々の端部で基部により接続固定されて音叉振動子を形成している。これらは例えば水晶板より切り出された一体構造である。このように構成された音叉振動子の前記アームの一方には音叉振動子とその共振周波数で主面方向に圧電駆動する為の1組の駆動電極が設けられており、外部の発振回路により電気的に駆動される。そして、もう一方のアームにはこの音叉振動子の前記発振回路により引き起こされた振動振幅を検出する為のモニター電極と、この音叉振動子の軸回りに入力した角速度に対して前記アームの主面に垂直方向に作用するコリオリ力による応力を圧電的に検出するセンス電極と、接地電極が設けられている。

【0005】ここで、モニター電極に発生した電荷は外部回路により増幅された後、AGC（オート・ゲイン・コントロール）によりあらかじめ設定された基準信号との比較により音叉振動子の振動振幅が一定になるように前記発振回路を制御している。

【0006】一方、前記センス電極はコリオリ力による

信号を外部の増幅回路により増幅した後、前記モニター電極から検出した音叉振動のタイミングで同期検波を行い、音叉振動子により変調がかけられたコリオリ力による信号を復調し、この後、LPF（ロー・パス・フィルタ）により不要帯域を遮断し、センサ出力としている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前記のような構成の角速度センサにおいては以下に述べるような問題点があり、本格的な実用化には至らなかった。

【0008】例えば、水晶は代表的な単結晶圧電材料であるが、これは $\text{SiO}_2$ が配列して単結晶になったもので、 $\text{Si}$ は正、 $\text{O}_2$ は負の電荷を持ち、対称に配列する事で電氣的に中和しているが、これに歪みが増えると電氣的対称性が崩れて電荷が発生する。

【0009】図30(a)はこの水晶の各軸を示した図であり、稜線を結ぶ軸をX軸（電気軸）といい、それに対して直角な方向をY軸（機械軸）といい、このX-Y軸が作る平面に対して垂直な軸をZ軸（光軸）と言う。また図30(b)はX-Y軸により構成される断面を示したもので、図のように極性を持つ。以上述べたごとく水晶のような単結晶圧電体はその分子配列により圧電特性を示し、その結果結晶方位に対して特定の極性を示す。

【0010】一方、振動型の角速度センサは、振動する物体に角速度が入力すると、その振動と直角方向に働くコリオリ力を検出する事により物体の回転を検出している為、振動を与える手段と、その直角方向の振動を検出する手段の2つの方位に対して圧電特性を必要としている。一般に音叉振動子は図31のような方向で切り出されるが、この様な切り出し方位では駆動振動を与える事は容易であるが、それに対して直角方向の振動であるコリオリ力の検出感度は極めて低いと言った問題を抱えている。

【0011】本発明は、センス電極による検出感度を高めた角速度センサを提供することを目的とするものである。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記した課題を解決するため、本発明の角速度センサは、単結晶圧電材料からなる少なくとも2本のアームと前記アームを連結する少なくとも1つの基部から構成される第1の音叉振動子と、前記第1の音叉振動子とほぼ相似形で単結晶圧電材料から構成される第2の音叉振動子とを備え、前記第1の音叉振動子と第2の音叉振動子を厚み方向に直接接合して一体化しており、前記第1の音叉振動子と第2の音叉振動子は前記各音叉振動子の幅方向もしくは厚み方向において互いに逆極性の圧電現象を生ずる結晶軸方向にて接合したことを特徴とするものである。

【0013】かかる構成によれば、第1の音叉振動子と

第2の音叉振動子とは電氣的に作用するX軸方向の極性を逆方向にしているため、アームの相対向する1組の周面に単一のセンサ電極を設けることが可能となり、X軸方向に電界を加えてもアームの表面側では電界方向と分極方向が同じとなり、その裏面側では電界方向と分極方向が逆になるため、X軸方向と直交する平面と平行方向に作用する振動に対してそれぞれ反対方向の伸縮力が作用し、電界に損失を生じて電界強度を弱める要因を少なくして検出感度を高めることができる。

【0014】

【発明の実施の形態】本発明の請求項1記載の発明は、単結晶圧電材料からなる少なくとも2本のアームと前記アームを連結する少なくとも1つの基部から構成される第1の音叉振動子と、前記第1の音叉振動子とほぼ相似形で単結晶圧電材料から構成された第2の音叉振動子とを備え、前記第1の音叉振動子と第2の音叉振動子を厚み方向に直接接合して一体化してなり、前記第1の音叉振動子と前記第2の音叉振動子は前記音叉振動子の幅方向において互いに逆極性の圧電現象を生ずる結晶軸方向にて接合された事を特徴とする角速度センサであり、極めて単純な電極構成が可能となり、フォトリソ工程における電極形成が可能となるばかりでは無く、従来の構成ではコリオリ力に起因する電荷成分がアームの断面中央付近ではキャンセルされる事による損失があったが、圧電材料の極性を反転させた事によりアーム断面内でのコリオリ力に起因する電荷の向きがそろった事により、極めて効率が高くなる。

【0015】また、請求項2記載の発明は、単結晶圧電材料からなる少なくとも2本のアームと前記アームを連結する少なくとも1つの基部から構成される第1の音叉振動子と、前記第1の音叉振動子とほぼ相似形で単結晶圧電材料から構成された第2の音叉振動子とを備え、前記第1の音叉振動子と第2の音叉振動子を厚み方向に直接接合して一体化してなり、前記第1の音叉振動子と前記第2の音叉振動子は前記音叉振動子の厚み方向において互いに逆極性の圧電現象を生ずる結晶軸方向にて接合された事を特徴とする角速度センサであり、音叉振動子の側面における電極の分割が不要であるため、従来の工法においても電極構成が容易であり、かつコリオリ力の検出においてもバイモルフ構造がゆえに従来の構成に対しては2倍の感度が得られ、かつコリオリ力の検出方向に対して圧電特性が高い軸方向を利用している為に、極めて高感度が得られ、トータルとしてS/Nの良好な角速度センサを構成できるメリットがある。

【0016】また、請求項3記載の発明は、単結晶圧電材料からなる第1と第2のアームと前記第1と第2のアームを連結する少なくとも1つの基部から構成される音叉振動子を有し、前記第1のアームと第2のアームは音叉振動子の厚み方向において互いに逆極性の圧電現象を生ずる結晶軸方向にて接合された事を特徴とする角速度

センサであり、2本のアームで（音叉の中心で）圧電材料の極性を反転させた事により、2本のアームから検出されるコリオリ力に起因した電荷成分は同相となり、逆に加速度成分に対しては逆相となる。この事からセンス電極をコモン接続する事が容易となり、アンプの増幅段数を減らす事が可能となるばかりではなく、従来この独立した2つのアンプの位相ずれや、その温度特性による中点電圧のドリフトの問題を払拭できるメリットがある。

【0017】また、請求項4記載の発明は、単結晶圧電材料からなる第1と第2のアームと前記第1と第2のアームを連結する少なくとも1つの基部から構成される音叉振動子を有し、前記第1のアームと第2のアームは単結晶圧電材料の結晶軸方向を直交させて接合された事を特徴とする角速度センサであり、2本のアームで（音叉の中心で）圧電材料の極性を異にし、片側のアームを駆動専用、もしくは駆動とモニターに使用し、残りのアームをセンスとモニターの検出、もしくはセンスのみに使用する事により、音叉振動子の駆動と、コリオリ力に起因する応力の検出といった直交する2方向の振動を圧電的に効率良く処理する事が可能となる。

【0018】また、請求項5記載の発明は、請求項1または2記載の角速度センサの製造方法であって、少なくとも2枚の単結晶圧電材料からなるウエハをその結晶軸方向を変えて直接接合した板材から、フォトリソグラフィで音叉振動子を加工する事を特徴とする角速度センサの製造方法であり、振動子をフォトリソ工程を用いて製造する事が可能であり、これらは接合工程を除いて従来の腕時計用音叉振動子の製造工程を流用できるため、極めて安価に、かつ大量に製造する事が可能となる。

【0019】また請求項6記載の発明は、請求項1または2記載の角速度センサの製造方法であって、少なくとも2枚の単結晶圧電材料からなるウエハからフォトリソグラフィで音叉振動子を加工し、その結晶軸方位を変えてウエハ上で直接接合する事を特徴とする角速度センサの製造方法であり、エッチングにより音叉振動子を構成した後に接合する事により、厚物の音叉振動子をもフォトリソ工程により製造が可能となり、高精度・高S/Nを求められるような用途においても前記技術を利用する事が可能となる。

【0020】請求項7記載の発明は、請求項1記載の角速度センサにおいて、2本のアームのうち一方のアームの外周4面に音叉振動子の主面に平行方向となるように励振する駆動電極を形成し、他方のアームの相対向する側面に音叉振動子の主面に垂直方向となる振動によって生ずる電荷を検出するセンス電極を形成した角速度センサである。

【0021】請求項8記載の発明は、請求項2記載の角速度センサにおいて、2本のアームのうち一方のアームの外周4面に音叉振動子の主面に平行方向となるように

励振する駆動電極を形成し、他方のアームの相対向する主面に音叉振動子の主面に垂直方向となる振動によって生ずる電荷を検出するセンス電極を形成した角速度センサである。

【0022】請求項9記載の発明は、圧電現象及び圧電逆現象を有する結晶体の電氣的に作用するX軸方向の一端を+極性及び他端を一極性とした圧電板から形成され、一対のアームを音叉基部から延出して前記X軸方向を幅又は厚み方向とした2枚の音叉振動子からなり、前記2枚の音叉振動子は前記X軸方向の極性を互いに逆方向として直接接合した角速度センサである。

【0023】上記した各請求項7、8、9に記載の角速度センサは、センス電極を分割することなく単一の構造として形成可能となり、極性を逆方向とした音叉振動子のそれぞれのアームに反対方向の伸縮力が作用し、検出感度を高めることができる。

【0024】（実施の形態1）図1乃至図8は本発明の実施の形態1における角速度センサを示す。

【0025】図1は音叉振動子を用いた本発明の角速度センサの実施の形態1における構造図を示しており、ここで1a、1bはアームで、これらは基部1cにより連結され音叉振動子1を形成している。同じく2a、2bはアームで、これらは基部2cにより連結され音叉振動子2を形成している。これらの音叉振動子1、2は水晶等の単結晶圧電材料から構成され、両者は直接接合により接続され、一種のバイモルフ構造をなしている。直接接合は被着体の表面を十分に平滑にして親水化処理後に水酸基を吸着させて被着体を重ねあわせて熱処理を施す事により、界面から水酸基や水素が離脱して被着体が接合され、一体構造と同等の接合状態を得るものである。

【0026】この時、音叉振動子1は1dに示すような結晶軸方向で、音叉振動子2はX軸を反転させた2dに示すような結晶軸方向で接合されている。すなわち、音叉振動子1、2はその主面方向においてX軸方向が互いに逆方向となるように接合されている。

【0027】次にこのようにして構成された角速度センサ用音叉振動子を、図2から図7を用いて具体的な構成を説明する。

【0028】アーム1a、2aのA-B平面側には音叉振動子を共振周波数でA-B平面に圧電駆動する為の駆動電極3a、3bが設けられており、外部の発振回路により電氣的に駆動される。

【0029】別のアーム1b、2bのA-B平面側にはこの音叉振動子の前記発振回路により引き起こされた振動振幅を検出する為のモニター電極5と接地電極6が設けられている。一方、アーム1a、1b、2a、2bのB-C平面側には音叉振動子のB軸回りに入力した角速度に対して発生したコリオリ力による応力を圧電的に検出するセンス電極7a、7b、7c、7dが設けられている。本例において、センス電極7a、7bは実効的に

接地電極にあり、駆動電極と兼用されている。

【0030】ここでモニター電極5より発生した電荷は図8に示すような外部回路により増幅された後、AGC（オート・ゲイン・コントロール）によりあらかじめ設定された基準信号との比較により音叉振動子の振動振幅が一定になるように前記発振回路を制御している。

【0031】一方前記センス電極7a～7dはコリオリ力による信号を外部の増幅回路により増幅した後、前記モニター電極5から検出した音叉振動のタイミングで同期検波を行い、音叉振動子により変調がかけられたコリオリ力による信号を復調し、その後LPF（ロー・パス・フィルター）により不要帯域を遮断し、センサ出力としている。

【0032】図6は駆動モード（A-B平面振動）におけるアームの断面の歪みと電荷の流れを示している。駆動時は各アームの幅方向に伸びと縮みを発生させる必要があり、駆動電極3a、駆動電極3bには反転した駆動信号を印加する事により、図に示すような電荷の流れが生じる。この時、アーム1aと2aはX軸が反転しているため、図6（b）の様にアームの幅方向で歪みが反転するような応力が発生し、これを繰り返す事によりアームをA-B平面に振動させる事が可能となる。この時、モニター電極5は駆動モードと逆のプロセスで音叉振動子の振動振幅による電荷を圧電的に検出する。

【0033】次に、図7はコリオリ力に対する検出モード（B-C平面）におけるアームの断面の歪みと電荷の流れを示している。

【0034】コリオリ力はB-C平面方向の振動である為、図7（b）に示すようにアームの厚み方向に伸びと縮みが生じる。これにより発生する電荷は、音叉振動子1と音叉振動子2のアームのX軸が反転している為に図7（a）に示すように同方向となり、センス電極7a、7b、及び7c、7dにより効率よく検出可能となる。

【0035】図9は本実施の形態1における角速度センサの製造工程を示している。図9において、8、9は水晶等の単結晶圧電材料からなるウエハーを示し、ウエハー8、9のそれぞれは最終的に出来上がる音叉振動子12の厚みの約半分の厚みを有している。さらに、これらはその結晶軸方位を異にしている。本例ではウエハー8、9の主面に互いに逆方向の関係にある。

【0036】このウエハー8、9を前記直接接合により接合した状態が図9（b）であり、この1枚の板となったもの10を通常の音叉振動子等と同様のプロセスであるフォトリソグラフィで音叉振動子を形成した状態が図9（c）に示す11であり、この後、電極形成を経て一個一個の音叉振動子に分割をしたものが12である。

【0037】このようにウエハー状態で結晶軸方向を変化させた単結晶圧電材料を接合する事で、通常の音叉振動子等と同様のプロセスを利用しながら前記の結晶軸方向を変えた各音叉振動子を製造する事が可能となる。

【0038】図10は本実施の形態1における角速度センサの他の製造工程を示している。図10において、ウエハー13、14は水晶等の単結晶圧電材料からなる薄板をフォトリソグラフィで音叉振動子を形成したものであり、これらは最終的に出来上がる音叉振動子16の厚みの約半分の厚みを有している。さらに、これらはその結晶軸方位を異にしている。

【0039】図10（b）はこれらのウエハー13、14をアライナーにより正確に位置決めを行った後に直接接合により一体化させた状態のもの15で、この後、電極形成を経て一個一個の音叉振動子に分割をしたものが16である。

【0040】このように最終の音叉振動子の約半分の厚み状態でエッチングにより音叉形状を作り出す事により、通常のエッチング時間の半分で加工が可能となるばかりでなく、エッチングによる断面の平面性を確保しやすく、分厚い振動子の形成も容易に、かつ精度良く加工できる。

【0041】尚、本実施の形態1においては、一方のアーム1a、2aに駆動を兼ねるセンス電極7a、7bを設けたが、このセンス電極7a、7bは図11に示すように駆動電極に専用のものとして利用しても良く、また図12に示すようにモニター電極5および接地電極6を省略しても良い。

【0042】（実施の形態2）図13乃至図19に本発明の実施の形態2における角速度センサを示す。図13において、1a、1bはアームで、これらは基部1cにより連結され音叉振動子1を形成している。同じく2a、2bはアームで、これらは基部2cにより連結され音叉振動子2を形成している。これら音叉振動子1、2は水晶等の単結晶圧電材料から構成され、両者は直接接合により接続され、バイモルフ構造をなしている。この時、音叉振動子1は1dに示すような結晶軸方向で、音叉振動子2はX軸を反転させた2dに示すような結晶軸方向で接合されている。すなわち、音叉振動子1、2はその厚み方向においてX軸方向が互いに逆方向となるように構成されている。

【0043】次に、図14から図19でその具体的動作を説明する。3aと3bは駆動電極で、5はモニター電極、6は接地電極で、7a、7bはセンス電極の役割を果たす。

【0044】まず、駆動モードは図18に示すごとく、アーム1b、2bに設けられた2つの駆動電極3aから3bに電荷の流れが発生する。

【0045】この時、アーム1bと2bはX軸が反転している為、アームの幅方向に歪みが反転するような応力が発生し、これを繰り返す事によりアームをA-B平面に振動させる事が可能となる。この振動下において、モニター電極5は駆動モードと逆のプロセスで音叉振動子の振動振幅を検出する。

【0046】一方、コリオリ力の検出モードは図19に示すように、アーム1a, 2aでX軸が反転している為にC軸方向の様な電荷の流れになり、アーム1a, 2aのA-B平面に設けられたセンス電極7a, 7bにより検出する事ができる。

【0047】尚、本実施の形態2においては、アーム1b, 2bに対して駆動電極3a, 3bおよびモニター電極5、接地電極6を設けたが、図20に示すように4つの平面にそれぞれ単一構造の駆動電極3a, 3bを設けてもよい。

【0048】(実施の形態3) 図21は本発明の実施の形態3における角速度センサを示している。図21において、1は水晶等の単結晶圧電材料から構成され、一对のアーム1aと1bとそれらを連結する基部1cからなる音叉振動子で、この時、アーム1aとアーム1bのX軸の結晶軸方位がアームの厚み方向で逆向きになるように、基部1cの部分で直接接合して構成されたものである。

【0049】ここで、アーム1aは1dに示すような結晶軸方向を持ち、アーム1bはX軸を反転させた2dに示すような結晶軸方向を持つように直接接合されている。

【0050】本実施の形態3においては、図22乃至図25に示すように一方のアーム1aの1つの主面に対して駆動電極3a, 3bおよびセンス電極7aが設けられ、かつ、一方のアーム1aの他の主面に対して接地電極6が設けられる。また、他方のアーム1bの1つの主面にモニター電極5およびセンス電極7bが設けられかつ他方のアーム1bの他の主面に対して接地電極6が設けられる。

【0051】まず、駆動モードは図26に示すごとく、駆動電極3aから接地電極6を経て3bに至る電荷の流れが発生し、アーム1aの幅方向に歪みが反転する繰り返し応力を発生させる事によりアーム1aに伸縮力を発生させ、音叉振動子を振動させる。一方、モニター電極5は接地電極6に対して音叉振動子の振動振幅に比例した電荷を検出する。

【0052】次に、コリオリ力の検出モードは図27に示すような電荷の流れにより、センス電極7a, 7bに電荷が発生する。この時、センス電極7a, 7bはX軸の極性が反転している為にコモン接続するだけでコリオリ力の検出と加速度のキャンセルが可能となり、外部回路は差動増幅する必要がなくなる。

【0053】他に、本実施の形態3においては、図28に示すように、アーム1aと1bのX軸の結晶軸方位を直交させるように接合し、アーム1aは音叉振動子の駆動及びモニターを行い、アーム1bはコリオリ力の検出を行うように構成しても良い。このような構成をとる事により駆動及びモニタリングと、コリオリ力の検出という2つの振動モードを圧電的に効率よく行う事が可能と

なる。

【0054】本発明の音叉振動子を用いた角速度センサは、他に図29(a), (e)に示すような三脚音叉型や、図29(b), (f)のクローズドエンド型音叉振動子、あるいは図29(c), (g)のH型音叉振動子等でも同様に実現可能であり、また図29(h)に示すように音叉振動子を3分割する場合も同様の効果を果たす事は言うまでもない。

【0055】なお、上記の各実施形態では、圧電材をZ軸及びX軸方向に直交する方向の水晶板として説明したが、音叉振動を得る切断角度での水晶板であればいずれでもよく、さらには例えばタンタル酸リチウム( $\text{LiTaO}_3$ )やニオブ酸リチウム( $\text{LiNbO}_3$ )等の他の単結晶からなる圧電材から音叉状圧電片を形成してもよい。

【0056】また、圧電材は単結晶として説明したが、セラミックス等の多結晶からなる圧電材であっても適用できる。但し、多結晶はそれぞれが単結晶の粒塊を例えば焼結により集合(凝集)してなるので、各粒塊の±極性は不揃いである。したがって、多結晶体に高圧を印加して各粒塊の±極性を整列させる所謂分極処理をする必要がある。そして、この場合の分極方向が電気的に作用するX軸となる。

【0057】

【発明の効果】以上述べたように角速度センサにおいて、単結晶圧電材料を圧電特性の極性が異なる軸で直接接合する事により、従来の構成では成し得なかった数々の効果を得る事が可能となった。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態1における角速度センサの音叉振動子の構成図

【図2】同音叉振動子の左側面図

【図3】同正面図

【図4】同右側面図

【図5】同背面図

【図6】同音叉振動子の駆動モードの説明図

【図7】同音叉振動子の検出モードの説明図

【図8】同角速度センサの回路ブロック図

【図9】同音叉振動子の製造工程の説明図

【図10】同音叉振動子の他の製造工程の説明図

【図11】同音叉振動子の他の例を示す駆動電極の配置図

【図12】同音叉振動子の他の例を示すセンス電極の配置図

【図13】本発明の実施の形態2における角速度センサの音叉振動子の構成図

【図14】同音叉振動子の左側面図

【図15】同正面図

【図16】同右側面図

【図17】同背面図



【図18】同音叉振動子の駆動モードの説明図

【図19】同音叉振動子の検出モードの説明図

【図20】同音叉振動子の他の例を示す駆動電極の配置図

【図21】本発明の実施の形態3における角速度センサの音叉振動子の構成図

【図22】同音叉振動子の左側面図

【図23】同正面図

【図24】同右側面図

【図25】同背面図

【図26】同音叉振動子の駆動モードの説明図

【図27】同音叉振動子の検出モードの説明図

【図28】同音叉振動子の他の例を示す構成図

【図29】本発明の更なる実施の形態における角速度センサの音叉振動子の構成図

【図30】(a) 水晶の各軸を説明するための図

(b) 同水晶のX-Y軸により構成される断面を示す図

【図31】従来の音叉振動子の構成図

【符号の説明】

1, 2 音叉振動子

1a, 1b, 2a, 2b アーム

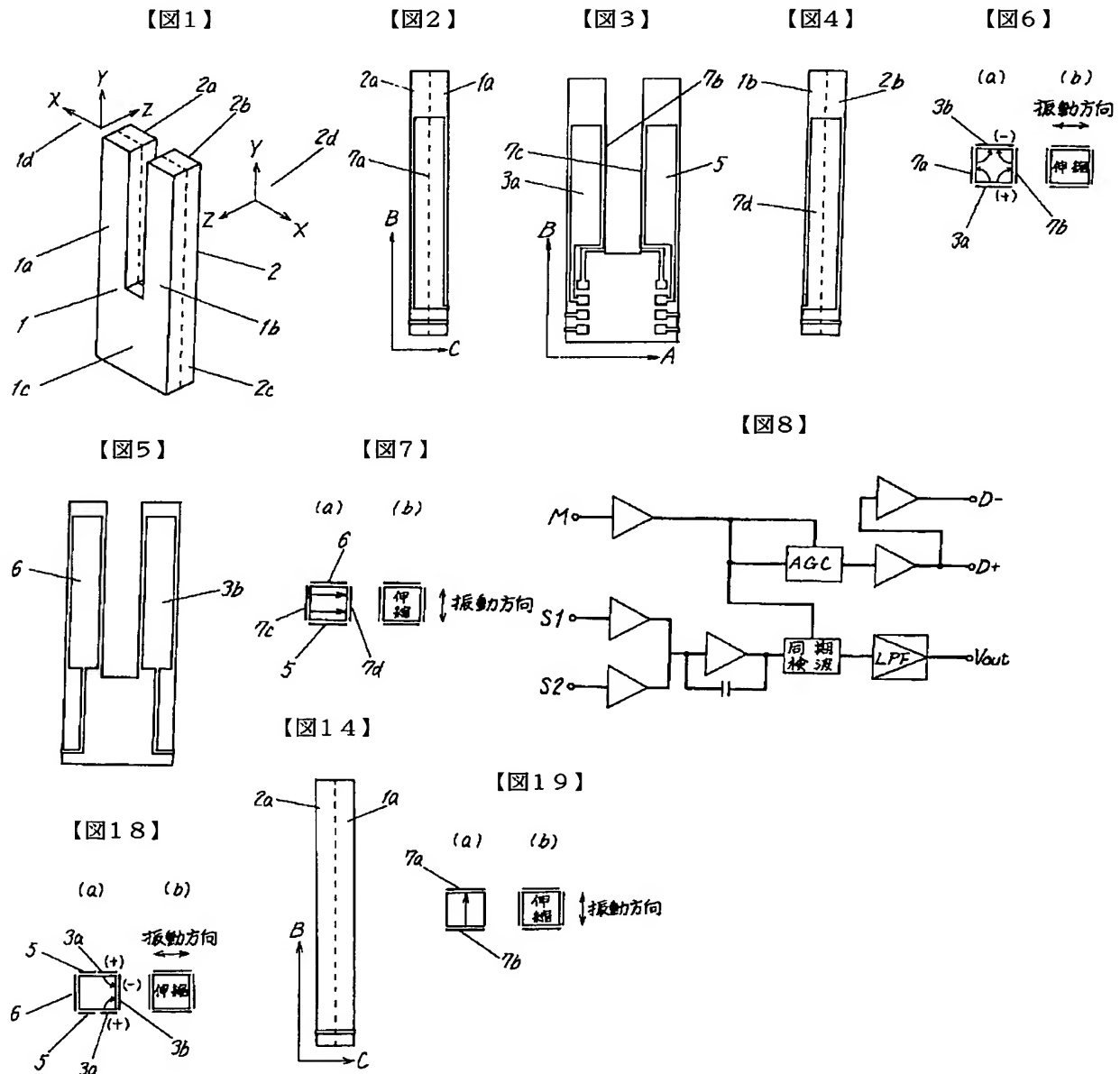
3a, 3b 駆動電極

5 モニター電極

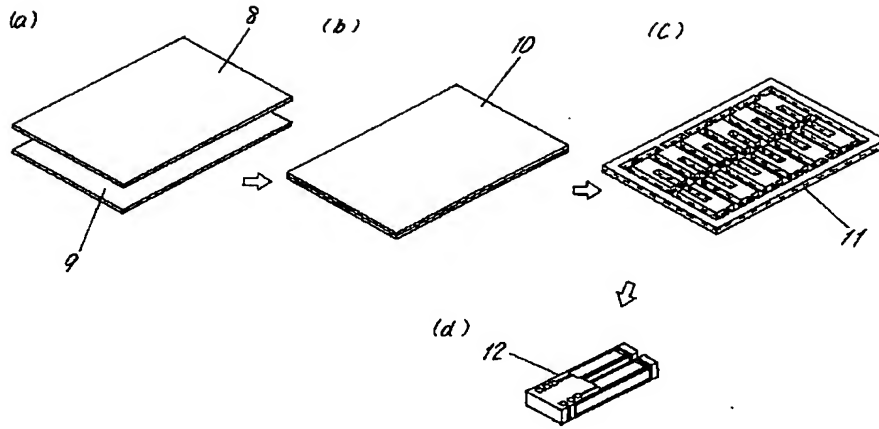
6 接地電極

7a, 7b, 7c, 7d センス電極

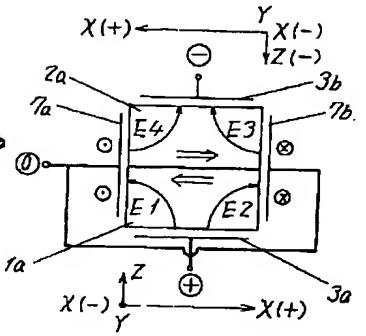
8, 9, 13, 14 ウエハー



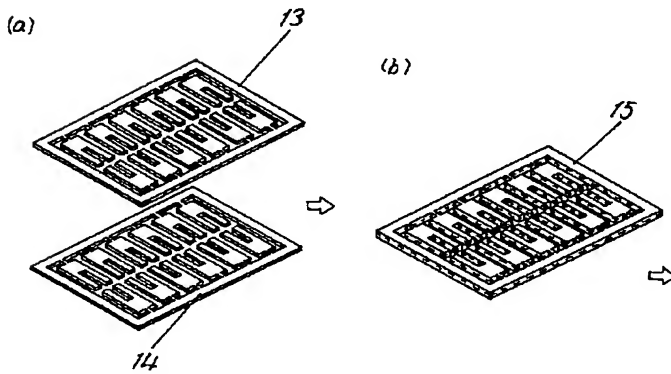
【図9】



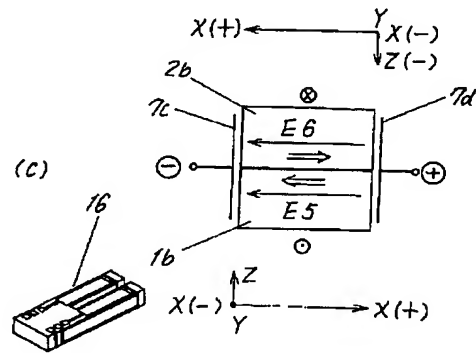
【図11】



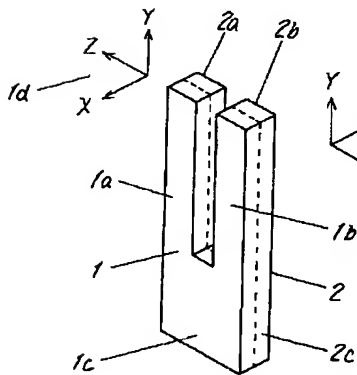
【図10】



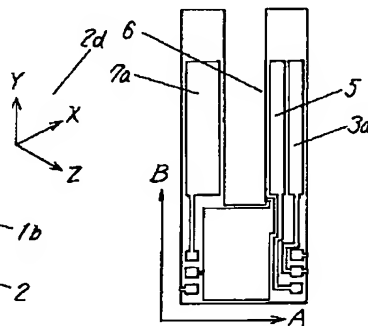
【図12】



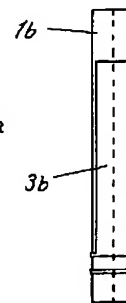
【図13】



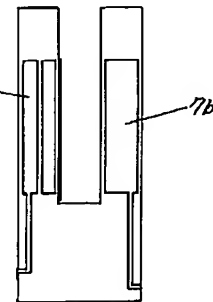
【図15】



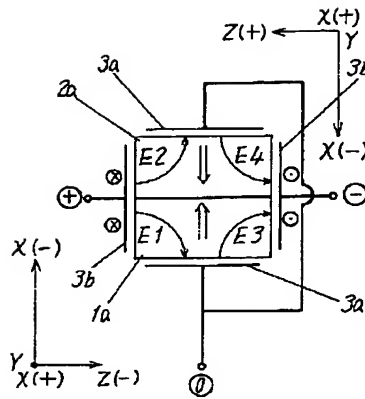
【図16】



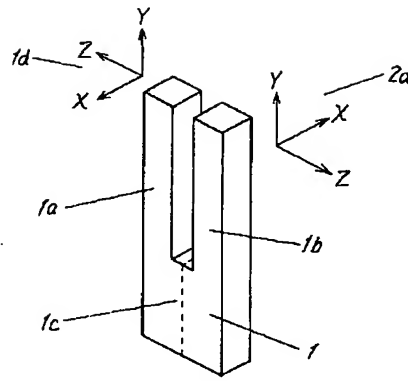
【図17】



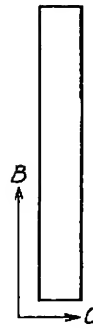
【図20】



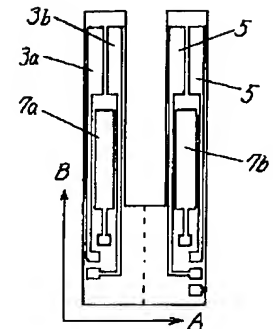
【図21】



【図22】

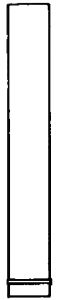


【図23】

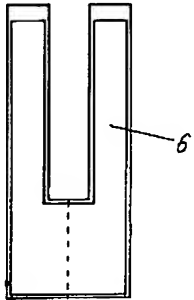


【図28】

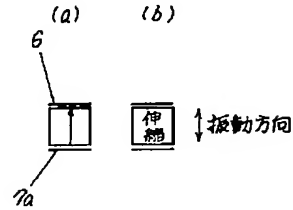
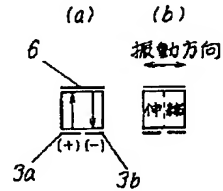
【図24】



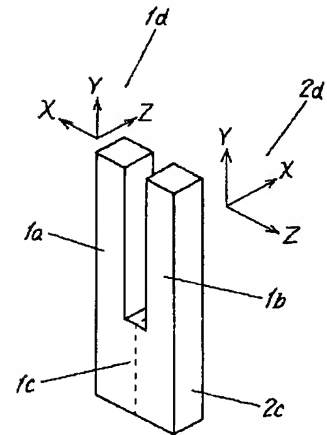
【図25】



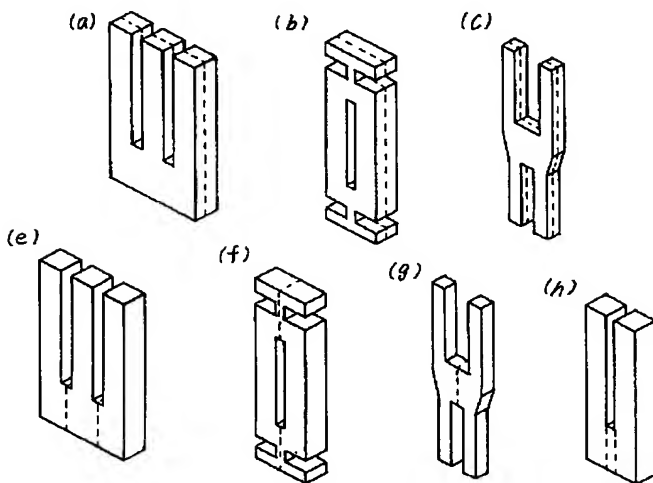
【図26】



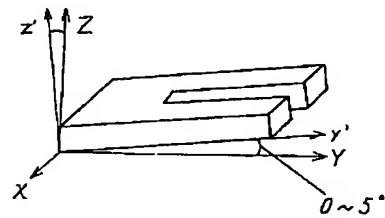
【図27】



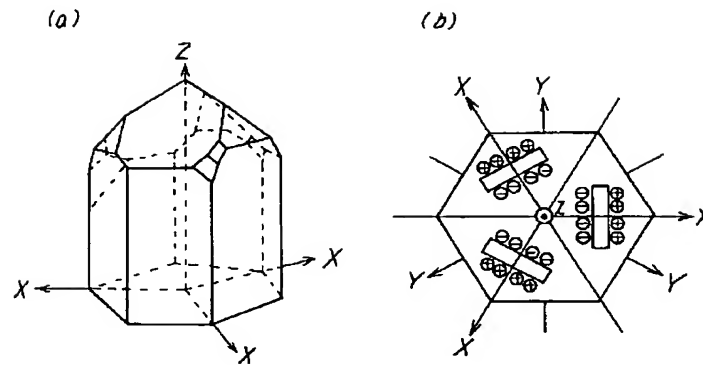
【図29】



【図31】



【図30】



フロントページの続き

(72)発明者 中丸 邦春  
埼玉県狭山市大字上広瀬1275番地の2 日  
本電波工業株式会社狭山事業所内

(72)発明者 石原 実  
埼玉県狭山市大字上広瀬1275番地の2 日  
本電波工業株式会社狭山事業所内

(72)発明者 小野 公三  
埼玉県狭山市大字上広瀬1275番地の2 日  
本電波工業株式会社狭山事業所内